

論文 Article

異形鉄筋を切り取ったコア供試体の圧縮強度の補正方法に関する一考察

原稿受付 2013 年 3 月 30 日
ものづくり大学紀要 第 4 号 (2013) 53~60

大塚秀三^{*1}, 中田善久^{*2}, 大木崇輔^{*3}

^{*1} ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科

^{*2} 日本大学 理工学部 建築学科

^{*3} 株式会社大林組(ものづくり大学大学院修了)

Consideration of Correction Method for Compressive Strength of Core Specimen Within Deformed Bar

Shuzo OTSUKA^{*1}, Yoshihisa NAKATA^{*2} and Sosuke OKI^{*3}

^{*1} Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists

^{*2} Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon University

^{*3} OBAYASHI CORPORATION(Graduate, Graduate School of Technologists, Institute of Technologists)

Abstract In rare occasions, there is core specimen that cut off deformed bar in structural concrete. However, there is not the correction method for compressive strength of core specimen within deformed bar that corresponds to the current concrete. This study proposed a simple correction method for compressive strength of core specimen within deformed bar, regardless of type of cement.

Key Words : Deformed Bar, Core Specimen, Compressive Strength, Correction method

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の構造体コンクリート強度を確認するために部材からコア供試体の採取を行なう場合には、事前に鉄筋探査機により非破壊的に配筋位置の確認を行うことが一般的であるため、鉄筋を切り取ることは少なくなってきた。しかしながら、鉄筋探査機の深さ方向への探査範囲は限定的であること¹⁾や結束線などの金属の影響²⁾などによる誤差が考えられることなどから、やむを得ず鉄筋を切り取ったコア供試体が採取されることが少なからず起こり得る。特に、近年では高耐震化による構造設計法の変化に伴う過密配筋化の傾向が顕著であり、鉄筋を切り取る可能性が従前より増しつつある。

これに対応して、JIS A 1107:2012「コンクリー

トからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」では、参考資料としての取扱いに留まるものの、平賀・毛見らの研究^{4), 5)}を例示し鉄筋を切り取ったコア供試体(以下、有筋コア供試体とする)の圧縮強度の特性について示している。さらには、東京都都市計画局のマニュアル³⁾では、有筋コア供試体の圧縮強度(以下、有筋コア強度とする)の補正係数(以下、東京都補正係数とする)を示している。

これまで、我が国において、東京都補正係数を定める際に参考とされた平賀・毛見ら^{4), 5)}をはじめとして、田村ら⁶⁾、森永ら⁷⁾およびセメント協会⁸⁾は、水セメント比 40~70%程度の普通強度における丸鋼または異形鉄筋を切り取った有筋コア強度の挙動について明らかとしている。しかしながら、いずれも数 10 年前の普通強度のコンクリー

トを対象としたものであり、当時とは使用材料および強度発現性の著しく異なる現状に対応した更なる研究は、普通コンクリートのみならず高強度コンクリートにおいても皆無である。このことから、有筋コア強度を、鉄筋を切り取っていない通常のコア供試体(以下、無筋コア供試体とする)の圧縮強度(以下、無筋コア強度とする)に補正するための方法について、現状においても既往の知見が準用できるかについて不明な点が残される。

そこで、本研究では、昨今の高強度コンクリートの著しい普及を鑑みて、 20N/mm^2 から 100N/mm^2 までの強度域を対象として、セメントの種類問わずに統一的、かつ簡易的な方法で有筋コア強度を無筋コア強度へ補正する方法の提案を試みる。

ここでは、 $\phi 100 \times 200(\text{mm})$ のコア供試体において、呼び径が D13 および D19 の異形鉄筋を切り取った場合を対象として、配筋方法の相違による補正方法を検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を Table1. に示す。実験の要因は、異形鉄筋の呼び径、配筋方法、セメントの種

類および水セメント比とした。実験水準は、異形鉄筋の呼び径を D13 および D19(いずれも JIS G 3112 規格品, SD295A)の 2 水準、配筋方法を床および非耐力壁を想定した、シングル配筋、ダブル配筋、シングル交差配筋およびダブル交差配筋の 4 水準とした。これに比較用として、無筋コア供試体を加えた。

コンクリートは、セメントに普通ポルトランドセメント(N)、中庸熱ポルトランドセメント(M)および低熱ポルトランドセメント(L)を用い、水セメント比を 25, 35, 45 および 55% の 4 水準とした。

2.2 試験体の概要

試験体の概要を Fig.1. に示す。試験体は、 $\phi 100 \times 200(\text{mm})$ のコア供試体が 3 本採取できる $W200 \times H200 \times L500(\text{mm})$ の寸法とし、先述の配筋方法に応じた 5 種類それぞれを 3 体ずつ作製した。

試験体へのコンクリートの打込みは、2 層打ちとして、いずれの試験体とも 3 箇所 of 同一位置に

Table 1. Experimental factors and levels

Factors	Levels
Diameter of deformed bar	D13, D19
Type of deformed bar arrangement	Single deformed bar Double deformed bars Single layer reinforcement Double layer reinforcement
Type of cement	Normal Portland cement (N) Moderate-heat portland cement (M) Low-heat portland cement (L)
Water-cement ratio (%)	25, 35, 45, 55

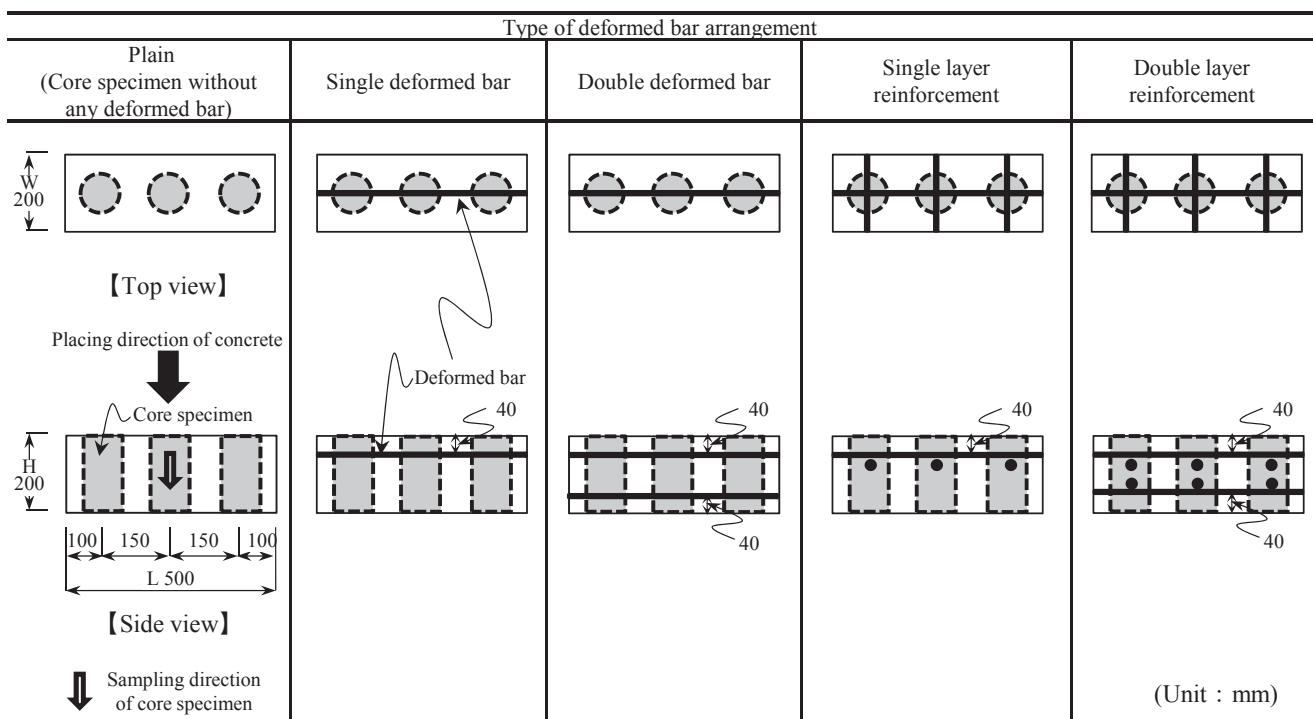


Fig.1. Outline of model specimen

φ40 のコンクリート内部振動機(100V, 振動数:12,000~15,500Hz)を各 5 秒挿入するとともに, ゴムハンマでせき板の側面を 10 回叩くことにより締め固めた。

せき板の脱型は, コンクリートの打込み後 48 時間とし, コンクリートの打込み直後には上端をポリエチレンフィルムで覆うことにより水分の逸散を防止した。試験体の養生方法は, 乾湿の影響によるコア強度のばらつきを低減するために, $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の水中養生槽へコア強度の試験材齢まで浸漬させた。コア供試体の採取は, コア強度の試験材齢の 2 日前に行い, 採取後には試験まで $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の水中養生に供した。

2.3 試験項目および方法

コア供試体の採取および圧縮強度試験は, JIS A 1107:2002 および JIS A1108:2006 に準拠して行い, 試験材齢を 28 日および 91 日の 2 材齢とした。

3. 結果および考察

3.1 異形鉄筋の容積比とコア強度の関係

異形鉄筋の容積比とコア強度の関係を Fig.2. に示す。図中には, 標準養生供試体の圧縮強度も併記した。

コア強度は, 全般的には異形鉄筋の容積比が大きくなるのに比例して小さくなる傾向を示した。一方で, 異形鉄筋の呼び径が D19 およびセメントの種類が L においては, 異形鉄筋の容積比, すなわち配筋方法の相違によってばらつきが若干大きくなる傾向が認められた。これは, 異形鉄筋の呼び径が大きくなるほどコンクリートと異形鉄筋の強度特性の差違が顕在化すること, セメントの種類が L では初期材齢の強度発現が抑制されるためコンクリートと異形鉄筋の付着強度が劣ることが原因と考えられる。また, 異形鉄筋の容積比が大きくなるほど, 載荷時の有筋コア供試体内部における応力状態がより不均一になるためと考えられる。さらには, 材齢 91 日に至ると, 異形鉄筋の容積比に比例してコア強度が低下する傾向と相反して, 無筋コア強度を上回るか同等の強度発現となる場合も散見されることから, 一定の材齢を経過してコンクリートのポテンシャル強度に達した以

降においては, むしろコンクリートと異形鉄筋の付着状態が良好となることにより, 載荷時の応力状態が均一化してコンクリートを優に卓越する異形鉄筋の圧縮強度が加算的に付加されるものと思われる。特にこの現象は, 90N/mm^2 前後の超高強度域において顕著である。

3.2 無筋コア強度に対する有筋コア強度の強度比

有筋コア強度とコア強度比(無筋コア強度/有筋コア強度)の関係を Fig.3. に示す。図中のプロットは, 材齢 28 日および 91 日の結果を区別なく表記したものである。

有筋コア強度の増大に伴ったコア強度比の変化は, 全般的に負の相関を示しており, 20N/mm^2 程度の低強度域では最大で 1.5 程度である一方で, 90N/mm^2 を超える超高強度域では無筋コア強度との差異が極めて小さくなる傾向を示し, 一部には無筋コア強度を上回る場合も認められる。また, 有筋コア強度とコア強度比の一次回帰式の傾きは, セメント種類によらず異形鉄筋の呼び径が D13 に比べて D19 の方が顕著に大きくなる傾向を示した。

以上より, 有筋コア強度に及ぼす影響は, セメントの種類の相違よりも切り取った異形鉄筋の呼び径または異形鉄筋の配筋位置の相違が卓越し, これらが複合的に連関して作用する可能性を示唆するものと考えられる。

3.3 有筋コア強度の補正係数の検討

鉄筋コンクリート造建築物の調査・診断における構造体コンクリート強度の調査は, コア強度を用いて行われることが一般的であり, 基本物性を調査する一次診断から, より詳細な調査を行い最終的な診断結果を決定づける三次診断までいずれの段階においても広範に用いられる。一方で, 調査における実作業を考慮すると, 異形鉄筋の呼び径および配筋方法については, 有筋コア供試体を外観観察すれば容易に判断が可能であるが, コンクリートに用いられているセメントの種類が同定するか否かは, 調査・診断の対象または条件によって異なると考えられる。

このことから, 鉄筋コンクリート造建築物の調査・診断時に, 新築時の設計図書が残存している場合やコンクリートの使用材料が既知である場合

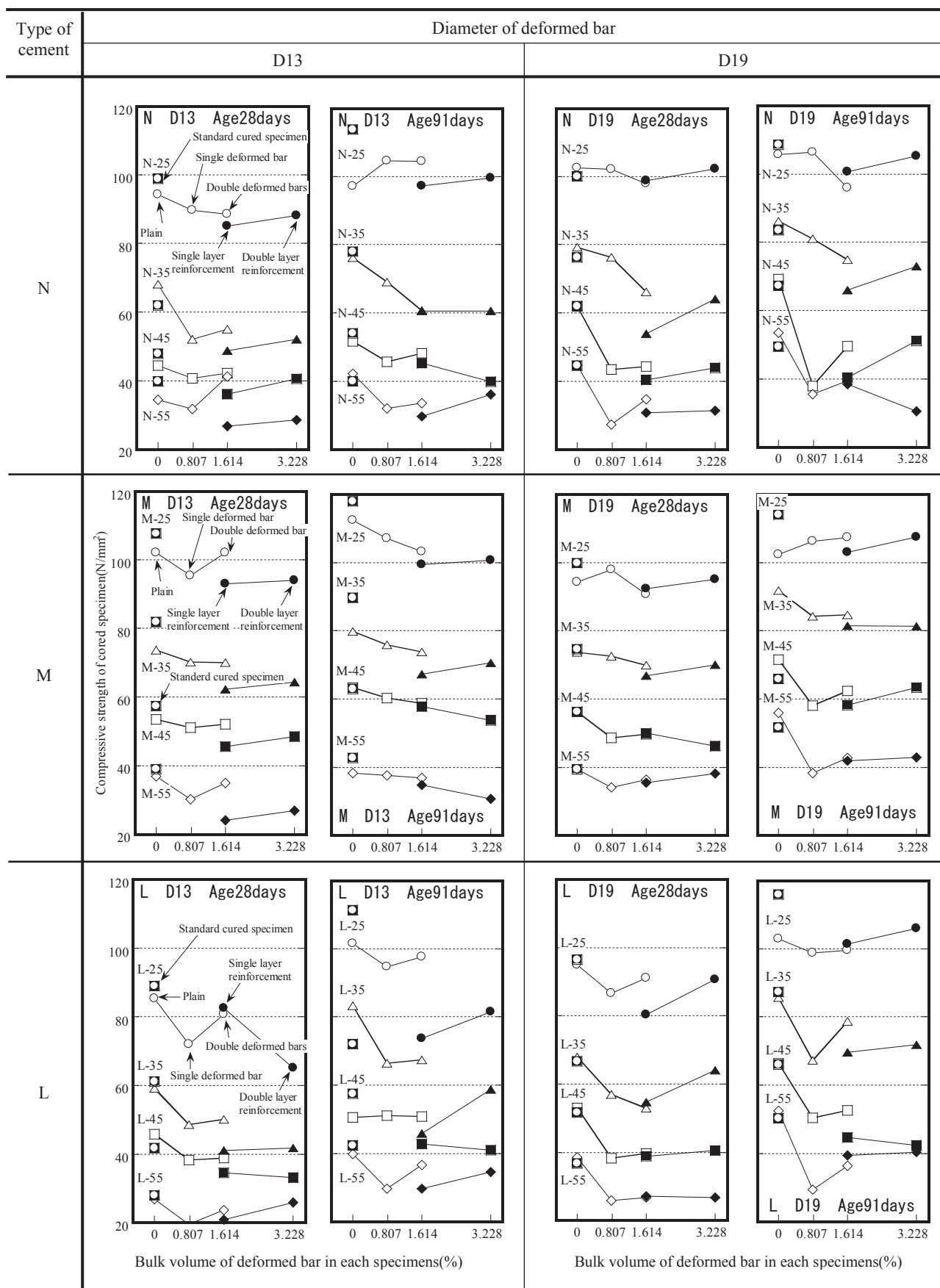


Fig.2. Relationship between bulk volume of deformed bar in each specimens and compressive strength of core specimens

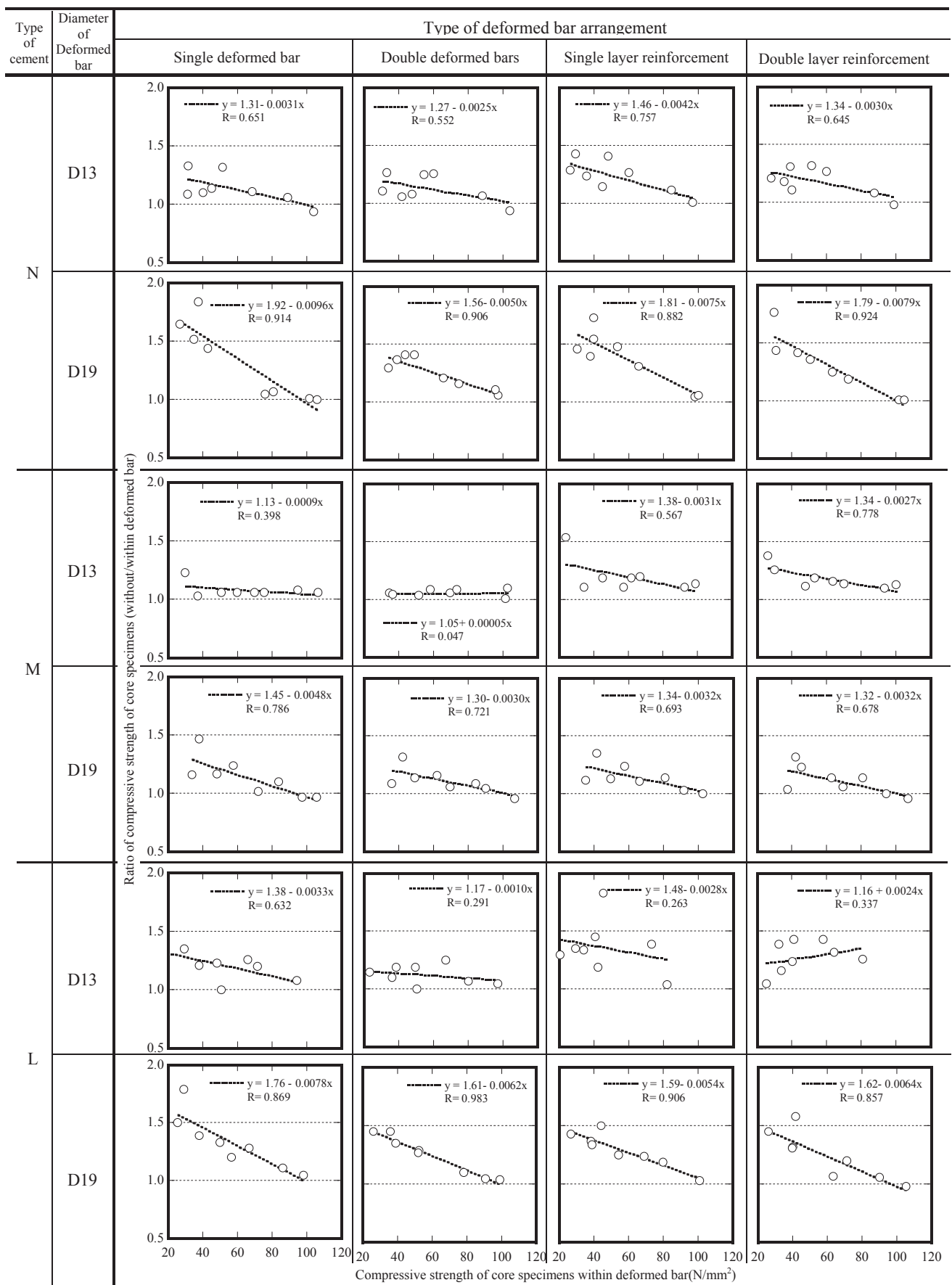


Fig.3. Relationship between compressive strength of cored specimen within deformed bar and ratio of core specimen without any deformed bar

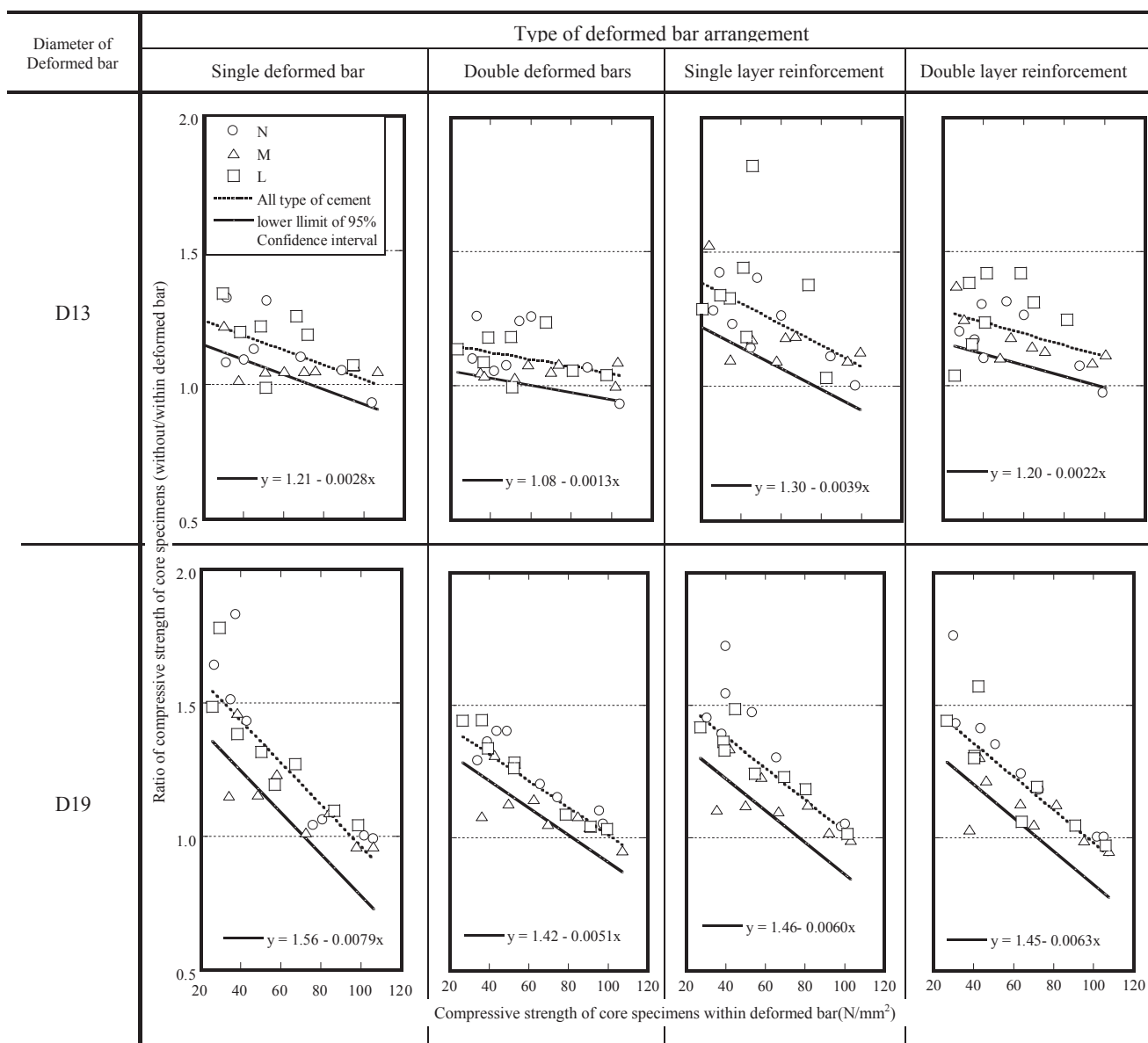


Fig.4. Relationship between compressive strength of cored specimen within deformed bar and ratio of core specimen without any deformed bar, regardless of type of cement

を想定した「セメントの種類を同定する場合」と、あくまで一次診断用としての取扱いに留めた「セメント種類を同定しない場合」の2ケースに区分して捉えることができる。本研究では、Fig.3.においてセメントの種類の相違による差異が少ないことに加え、有筋コア強度を最終的な構造体コンクリート強度の診断結果として取り扱うことが、コア供試体の採取位置および採取本数が限定されていることなどの特異な条件を除いて現実的ではないことを踏まえて、セメントの種類の同定には至らない一次診断の位置付けとして、後者の「セメント種類を同定しない場合」について有筋コア

強度の補正方法を検討することとした。即ち、セメント種類を区別しないで統一的に求められる補正方法の検討を行った。

セメントの種類を区別しない場合の有筋コア強度とコア強度比(無筋コア強度/有筋コア強度)の関係を Fig.4.に示す。同図は、Fig.3.において示したセメントの種類による区別をせずに、同一の異形鉄筋の呼び径および配筋方法で全体を統合してプロットしたものである。

ここでは、コア強度比のばらつきを鑑みて、補正された有筋コア強度における安全側の評価を可能とするために、有筋コア強度とコア強度比の関

Table 2. Compensation formula to calculate compensating rate and threshold level

Diameter of deformed bar	Deformed ber arrangement	Compensation formula to calculate compensating rate	Threshold level of core strength, compensating rate equal 1.00 (N/mm ²)
D13	Single deformed bar	$Cc = -0.0028 \times Ic + 1.21$	75.0
	Double deformed bars	$Cc = -0.0013 \times Ic + 1.08$	61.5
	Single layer reinforcement	$Cc = -0.0039 \times Ic + 1.30$	76.9
	Double layer reinforcement	$Cc = -0.0022 \times Ic + 1.20$	90.0
D19	Single deformed bar	$Cc = -0.0079 \times Ic + 1.56$	70.9
	Double deformed bars	$Cc = -0.0051 \times Ic + 1.42$	82.4
	Single layer reinforcement	$Cc = -0.0060 \times Ic + 1.46$	76.7
	Double layer reinforcement	$Cc = -0.0063 \times Ic + 1.45$	71.4

係を回帰させた一次式の95%信頼区間の下限値によって導出された Fig.4.に示す一次回帰式によって、有筋コア強度の補正係数を算定することとした。これによると、有筋コア強度の発現が一定値を超えると補正係数 1.00 を下回る、すなわち無筋コア強度を上回る補正強度が算定される場合があるため、95%信頼区間の下限値が 1.00 を超える有筋コア強度域については一律に補正係数を 1.00 と定めた。

以上のことをまとめて、セメントの種類を区別しない場合の有筋コア強度の補正係数の算定式と補正係数を 1.00 とする有筋コア強度のしきい値を Table2.に提案する。

これによれば、有筋コア強度の補正強度は、異形鉄筋の呼び径および配筋方法による補正式を選択し、これに有筋コア強度を代入して得られる補正係数を、有筋コア強度に乗じて算定する。ただし、本方法の適用範囲は、有筋コア強度が 100N/mm² を超える強度域において有筋コア強度が無筋コア強度を上回るものが増加するために危険側の判定、すなわち過大評価となることを回避するために、有筋コア強度が 20~100N/mm² の範囲に限定する。

3.4 既往の補正係数との比較

本項では、前項において示した補正係数の算定式に基づいて有筋コア強度の補正強度を求め、無筋コア強度との比較においてその有効性を検証するとともに、既往の補正係数として広く認知されている東京都補正係数³⁾による有筋コア強度の補正值との比較による検証も併せて行った。

無筋コア強度と有筋コア強度の補正值の関係を Fig.5.に示す。異形鉄筋の呼び径が D13 では、本

実験の水準と完全に合致しない条件が含まれているにも関わらず、本研究の補正強度と東京都補正強度が概ねの一致を見ていた。一方、異形鉄筋の呼び径が D19 では、概ね 40~70N/mm² の範囲において、本研究の補正強度と東京都補正強度の差が大きくなり、東京都補正係数で補正した場合には有筋コア強度を過小評価する可能性がある。これは、そもそも東京都補正係数が D19 を想定していないことによるが、実験条件が完全に一致を見ない異形鉄筋の呼び径が D13 の水準と異なり、異形鉄筋の呼び径が大きくなると実験条件の差が顕在化することを示唆していると考えられる。また、いずれの異形鉄筋の呼び径および配筋方法とも 100N/mm² 程度までは等値線を上回らずに安全側の評価が可能である一方で、100N/mm² を超える強度域では等値線を上回り、有筋コア強度を過大評価する傾向となった。

以上より、補正係数は、異形鉄筋の呼び径が D13 においては、配筋方法に関わらず本研究の補正係数および東京都補正係数のいずれを用いても大差ないが、異形鉄筋の径が D19 においては、本研究の補正係数を用いて算定するのが良いと結論付けられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1)有筋コア強度は、概ね異形鉄筋の容積比に比例して小さくなるが、コンクリートのポテンシャル強度の発現以前および異形鉄筋の呼び径が D19 ではその挙動が不安定となる。
- (2)無筋コア強度に対する有筋コア強度の強度比

は、セメントの種類の相違よりも切り取った異形鉄筋の呼び径または異形鉄筋の配筋位置の相違が卓越し、これらが複合的に影響を及ぼす可能性がある。

(3)コア供試体に用いられたセメントの種類を同定しない場合について、配筋方法に応じた補正方法を提案した。なお、本方法の適用範囲は、有筋コア強度が $20 \sim 100 \text{ N/mm}^2$ の範囲とする。

(4)セメントの種類が未知の場合の補正係数は、異形鉄筋の呼び径が D13 においては、配筋方法に関わらず本研究の補正係数および東京都補正係数のいずれを用いても大差ないが、異形鉄筋の径が D19 では、本研究の補正係数を用いて算定するのが良い。

謝辞

本研究の実施にあたり、故・足利工業大学工学部建築学科教授・毛見虎雄博士より示唆に富むご助言を賜りました。また、実験に際しては、日本大学およびものづくり大学の卒業研究生諸君の助力を得ました。ここに記して、深謝申し上げます。

文 献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，pp.709-715，2009
- 2) 李迅，毛見虎雄，藤井和俊：鉄筋コンクリート構造物の健全性評価技術に関する研究－電磁波誘導法によるかぶり厚さの施工精度の調査，日本建築学会技術報告集，pp.29-32，2001.7
- 3) 東京都都市計画局建築指導部：建築物の耐震診断システムマニュアル(鉄筋コンクリート造)，pp.88-89，1988.12
- 4) 平賀友晃，荒巻哲生，倉林清，毛見虎雄：コンクリート，その 2 鉄筋を含むコンクリートコアの場合，日本建築学会大会学術講演集，pp.91-92，1977.10

- 5) 平賀友晃：鉄筋コンクリート部材の切断加工技術と建築現場への適用に関する研究，日本大学学位請求論文，1982.10
- 6) 田村博，上田哲夫：鉄筋を含んだコンクリートコアの圧縮強度に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.127-128，1980.9
- 7) 森永繁，成田一徳，野萱勝久：コンクリート試験体内の鉄筋が圧縮強度に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.93-94，1977.10
- 8) セメント協会：コンクリート専門委員会報告 F-37 コア供試体の圧縮強度に及ぼす各種影響要因の影響，1984.3

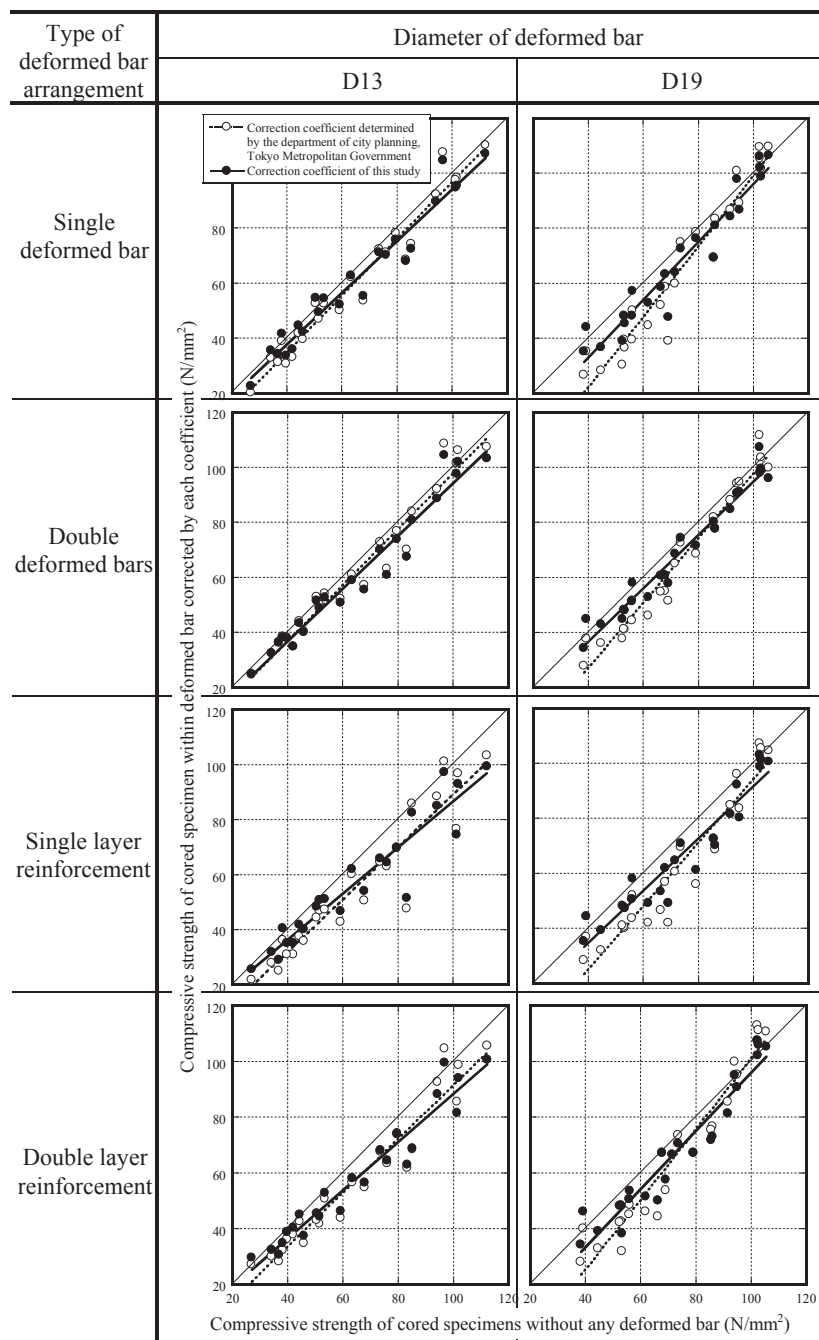


Fig.5. Relationship between compressive strength of core specimen without deformed bar and corrected by each coefficient